

Jauge de contrainte low-tech à base de graphite



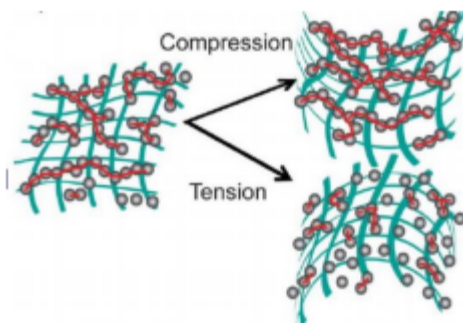
Principales caractéristiques

- Low-tech
- Bas coût
- Petite taille, facilement transportable
- Facile d'utilisation
- Temps de réponse court
- Faible consommation de courant
- Mesure de déformations de compression et tension.
- Feuillettes de graphite déposés avec des crayons sur du papier

Description

Ce capteur low-tech à base de graphite constitue une jauge de contrainte (ou jauge de déformation). Il est assimilé à un rectangle de papier sur lequel est dessiné une forme de « U » à l'aide d'un crayon à papier. Différents types de crayons peuvent être utilisés du 9H au 9B classés suivant leur concentration croissante en particules de graphite.

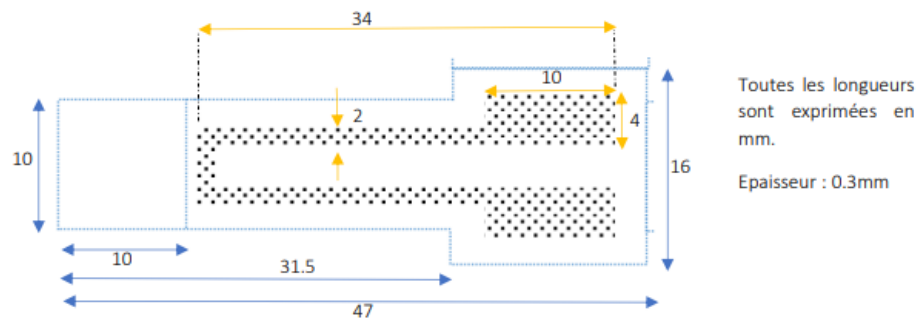
Le capteur permet de détecter des déformations en compression ou tension. Il exploite la théorie de la percolation au sein d'un système granulaire constitué de nanoparticules de graphite formant des feuillets. La fine couche de graphite déposée sur la feuille de papier présente un réseau percolé caractéristique. Dans ce réseau, le transport des électrons entre les nanoparticules est assuré par le mécanisme de l'effet tunnel. Ainsi, les différents chemins de percolation permettent la conduction du courant.




Lors de l'application de déformations en tension, le réseau percolé se trouve directement étendu (le taux de percolation des réseaux diminue). Cette déformation induit une augmentation de la distance effective entre les particules de graphite au sein du réseau. Une partie des chemins de percolation sont par conséquent rompus. Ainsi, la conduction du matériau diminue, soit la résistance de la couche de graphite augmente.

A l'inverse, lors de l'application de déformations en compression, le réseau percolé se trouve directement comprimé. Cette déformation induit une diminution de la distance effective entre les particules. Ainsi, de nouveaux chemins de percolation sont créés, la conduction du matériau augmente, soit la résistance de la couche de graphite diminue.

Spécifications



 Couche de graphite déposée à l'aide du crayon à papier

Type	Jauge de contrainte basée sur des particules de graphite
Matériaux	Feuillets de graphite (carbone) Ion argileux (C,Mg,Al,Si) Fibres cellulosiques végétales (papier)
Type de capteur	Capteur passif
Mesure de la déformation	Variation de résistance
Nature de la mesurande	Résistance
Nature du signal de sortie	Analogique
Alimentation	+ 5 V
Temps typique de réponse	<1s
Longueur	34 mm
Largeur de bande	2 mm

Conditions d'utilisation standard

	Unité	Valeur typique
Tension	V	0 - 5
Température	°C	20 +/- 5

Humidité	%	60 +/- 10
----------	---	-----------

Caractéristiques électriques

	Unité	Valeur		
		Min	Typique	Max
Résistance HB	MΩ	17,6	31,7	72,6
Résistance B	MΩ	29,8	35,9	50,5
Résistance 2B	MΩ	11,4	16,5	23,5
Tension HB	V	0,7	1,58	2,85
Tension B	V	1,00	1,40	1,68
Tension 2B	V	2,14	3,04	4,38

Caractéristiques du capteur

La caractéristique du capteur est déterminée en mesurant l'évolution de la variation de la résistance en fonction de l'angle de courbure du papier. En imposant une certaine courbure au capteur, une variation de résistance est obtenue, celle-ci dépendant de la déformation appliquée. R_0 est la résistance de la jauge pour un angle de courbure appliqué nul, c'est-à-dire une déformation égale à 0.

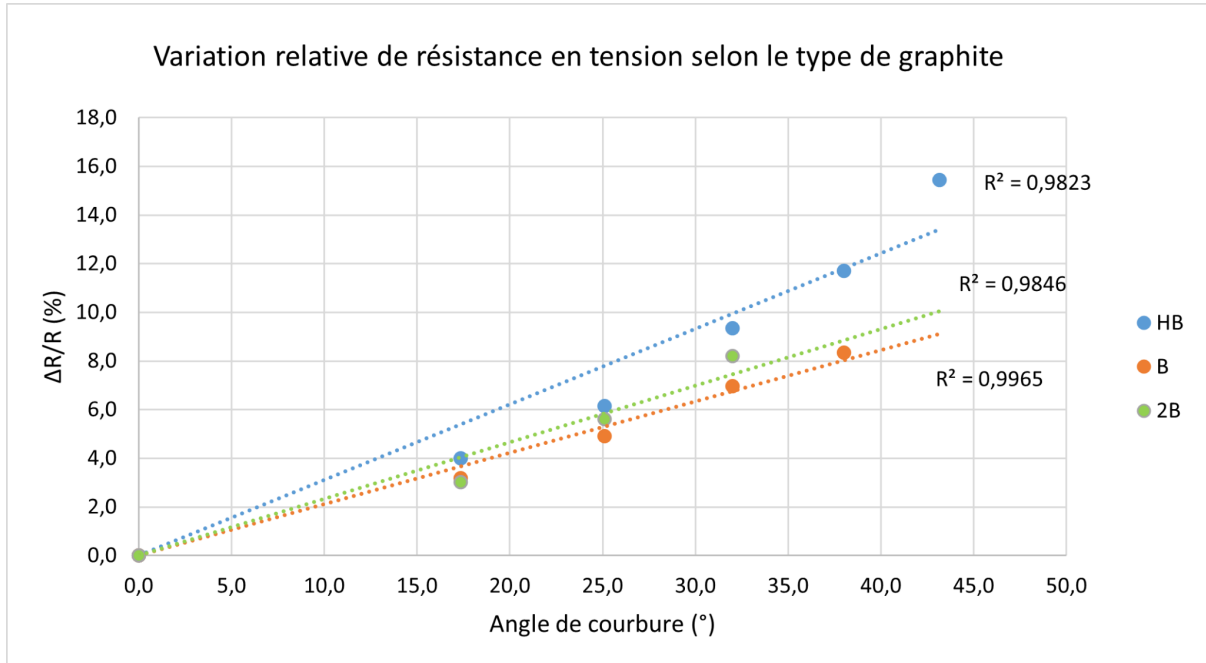


Figure 1 : Caractéristique du capteur en tension représentant la variation de résistance en fonction de l'angle de courbure appliqué au capteur

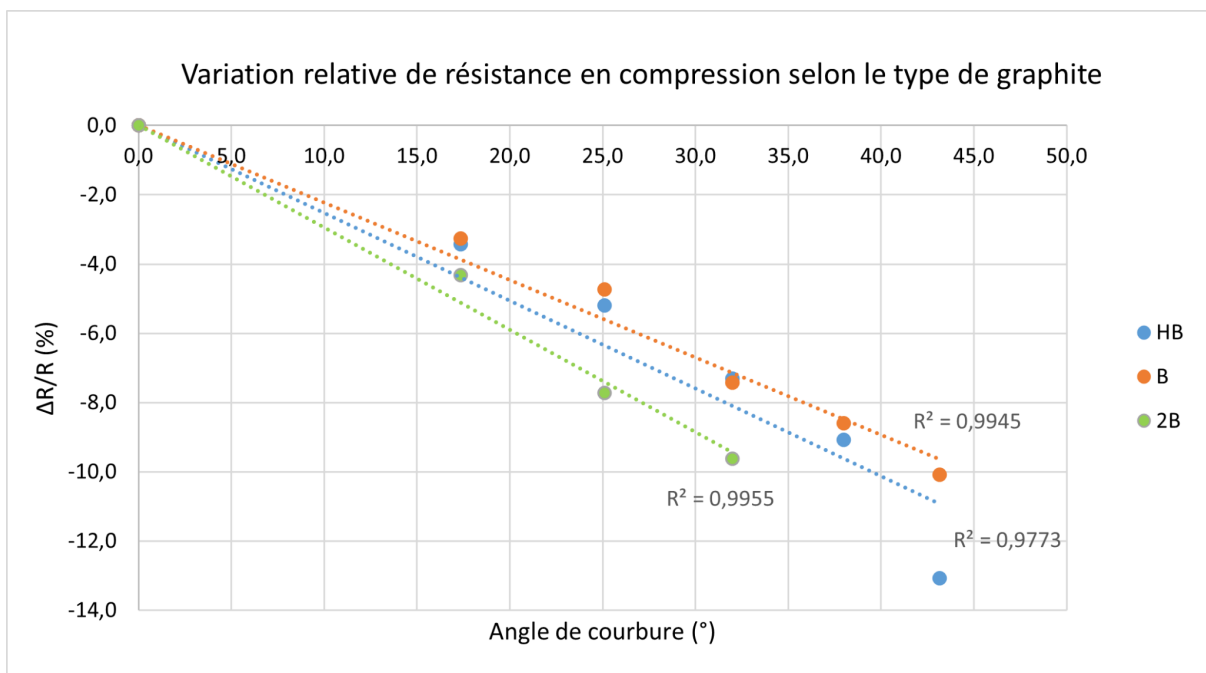


Figure 2 : Caractéristique du capteur en compression représentant la variation de résistance en fonction de l'angle de courbure appliqué au capteur

Exemple de montage conditionneur

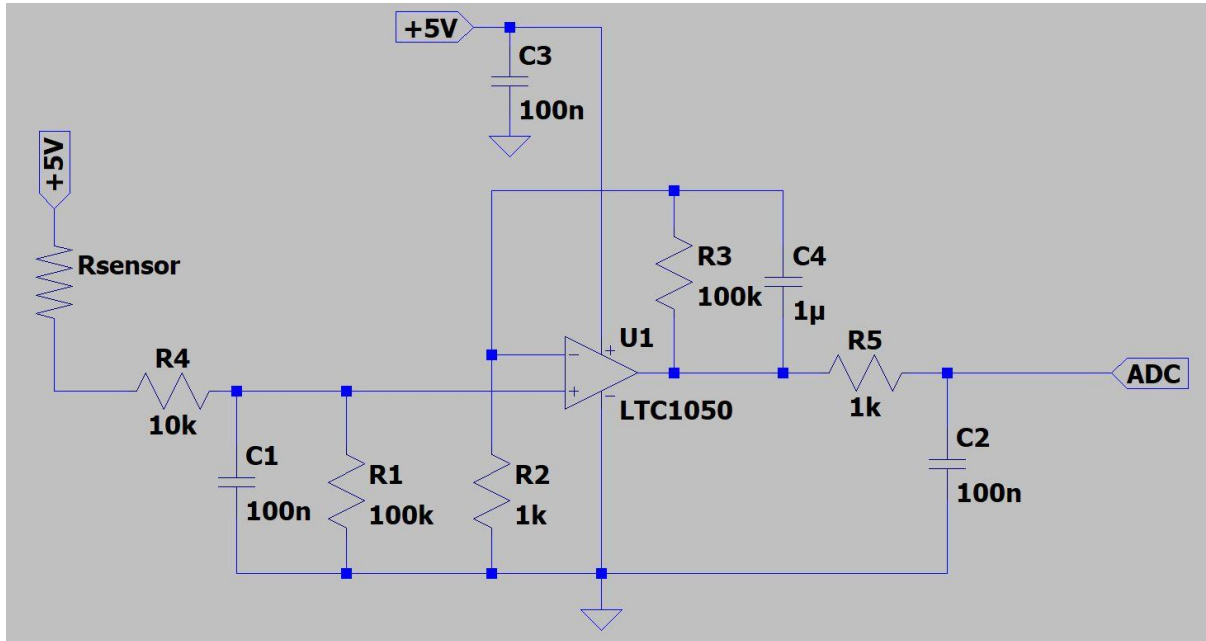


Figure 3 : Circuit amplificateur transimpédance

Le capteur est relié à un circuit amplificateur transimpédance. Il est constitué d'un amplificateur opérationnel LTC1050 pour fournir un signal en tension suffisant au convertisseur analogique-numérique (ADC) d'une carte Arduino UNO.

Le circuit dispose de trois étages de filtrage:

- à l'entrée, un filtre passe-bas (R1C1) de fréquence de coupure de 16 Hz permet de filtrer les bruits en courant sur le signal d'entrée
- un autre filtre passe bas de 1.6 Hz (R3C4) couplé à l'AOP permet de filtrer la composante du bruit à 50 Hz provenant du réseau électrique
- à la sortie de l'amplificateur, un dernier filtre (R5C2) de 1.6 kHz permet de traiter les bruits dus à l'échantillonnage de l'ADC

La capacité C3 sert à filtrer les irrégularités de la tension d'alimentation de l'amplificateur. La résistance R2 sert à calibrer l'amplificateur sur le domaine de tension souhaité, qui est celui de l'ADC du micro-contrôleur. Enfin, la résistance R4 protège l'AOP contre les décharges électrostatiques et constitue un filtre RC avec la capacité C1 pour les bruits en tension.

La tension résultante peut être connectée à un ADC 5V (carte Arduino). Le montage présenté ci-dessus évite un excès de bruit à l'entrée de l'ADC, qui pourrait amener celui-ci à saturation. A partir de la valeur de tension récupérée en sortie (V_{adc}), il est possible de retrouver la valeur de résistance du capteur donnée par la formule ci-après :

$$R_{\text{capteur}} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{V_{cc}}{V_{adc}} - R_1 - R_5$$

Remarques

Ce capteur a été réalisé dans le cadre du projet « du capteur au banc de test » par des étudiants du Génie Physique de l'INSA Toulouse : Yohan Cunnac et Alexandre Oysel Mestre, au cours de l'année universitaire 2021-2022.